



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 53 983 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 13/24**  
G 02 B 13/14  
G 03 F 7/20

⑦1 Aktenzeichen: 196 53 983.8  
②2 Anmeldetag: 21. 12. 96  
④3 Offenlegungstag: 25. 6. 98

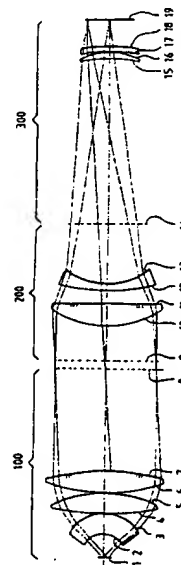
⑦1 Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:  
Schultz, Jörg, 73431 Aalen, DE; Wangler, Johannes,  
89551 Königsbronn, DE; Schuster, Karl-Heinz,  
89551 Königsbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 REMA-Objektiv für Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen

⑤7 Ein REMA-Objektiv wird durch Einführung weniger (3-5 Stück) Asphären (7, 11, 17) bei hochwertiger Korrektur mit geringer Linsenzahl (bis 10) und wenig Glasweg (25-30% maximal des Objekt-Retikel-Abstands) realisiert, so daß der Wirkungsgrad erhöht ist.



DE 196 53 983 A 1

Die Erfindung betrifft ein REMA-Objektiv. Dies ist ein Objektiv, mit dem eine Retikel-Maskiereinrichtung (REMA) in die Ebene des Retikels, das die strukturierte Maske für die Lithographie trägt, abgebildet wird. Der auf dem Retikel ausgeleuchtete Bereich wird damit scharf berandet. Gewöhnlich ist die Retikel-Maskiereinrichtung mit verstellbaren Schneiden aufgebaut. Die Abbildung ist normalerweise vergrößernd.

Ein REMA-Objektiv gelangt in Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen (Stepper oder Scanner) zum Einsatz.

Aus DE-U 94 09 744 ist eine Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage bekannt, bei der in angegebener Reihenfolge vorgesehen sind: Lichtquelle, Verschluss, Einkoppelobjektiv (Zoom-Axi-con), Glasstab als Integrator, Retikel-Masking-System, REMA-Objektiv zur Abbildung der im Retikel-Masking-System liegenden Zwischenfeldebene auf das Retikel, enthaltend eine erste Linsengruppe, eine Pupillen-Zwischenebene, eine zweite Linsengruppe, einen Umlenkspiegel, eine dritte Linsengruppe und die Retikel-Ebene mit dem Retikel. Danach folgt ein Projektionsobjektiv, das normalerweise verkleinert und – zum Beispiel bei nicht telezentrischem Eingang – eine innenliegende Pupillenebene enthält, dann der Wafer in der Bildebene.

In dem System nach EP 0 526 242 A1 ist nach dem Integrator, hier ein Wabenkondensor, zunächst ein Projektionsobjektiv vorgesehen, bevor das Retikel-Masking-System folgt. Über zwei Linsengruppen und Spiegel ist das Retikel-Masking-System zur Retikel-Ebene optisch konjugiert, wird also abgebildet. Zugleich wird die Blende am Austritt des Integrators – die sekundäre Lichtquelle – durch die zwei Linsengruppen und Teile des Projektionsobjektivs auf die Pupille des Projektionsobjektivs abgebildet. Zu Bildfehlern wird dabei nichts ausgesagt.

In der WO 95/32446 der Anmelderin ist ein höchstaperturiges katadioptrisches Reduktionsobjektiv für die Mikrolithographie beschrieben, zu dessen Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 und Tabelle 2 das hier gezeigte Ausführungsbeispiel eines REMA-Objektivs genau passend ist.

Die nicht vorveröffentlichte Patentanmeldung DE 195 48 805.9 vom 27. 12. 1995 beschreibt REMA-Objektive mit ausschließlich sphärischen Linsenflächen. Das dortige Ausführungsbeispiel hat 13 Linsen und ist in seinen optischen Eigenschaften dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel (Fig. 1) sehr ähnlich. Beide REMA-Objektive passen hinsichtlich ihrer Pupillenfunktion hervorragend zu dem Projektionsobjektiv der WO 95/32446.

Die genannte WO-Schrift wie die DE 195 48 805.9 und die DE-U sind daher ausdrücklich Teil der Offenbarung dieser Patentanmeldung.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein REMA-Objektiv anzugeben, das erheblich weniger Grenzflächen – an denen Reflexionsverluste auftreten – und erheblich weniger Glasweg – in dem Absorption erfolgt – aufweist und somit einen wesentlich verbesserten Transmissionswirkungsgrad hat. Bei den optischen Eigenschaften können dabei keine Abstriche gemacht werden.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein REMA-Objektiv mit wenigen, höchstens vier bis fünf, Asphären nach einem der unabhängigen Ansprüche 1 oder 2 und durch eine komplette Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16.

An sich ist bekannt, daß Asphären neue Korrekturmöglichkeiten eröffnen und dadurch Linsen eingespart werden können. Es ist aber auch klar, daß Asphären den Herstell- und Qualitätsprüfungsaufwand drastisch erhöhen, so daß sie hinsichtlich ihrer Zahl und ihrer Abweichung von der Sphärenform sparsam eingesetzt werden müssen.

Überraschend ist es gelungen, mit nur drei bis vier, höchstens fünf, Asphären, deren Abweichungen von der Sphärizität mäßig sind, die Linsenzahl und den Glasweg jeweils unter 60% zu reduzieren. Die hohen Anforderungen an ein REMA-Objektiv werden dabei weiterhin erfüllt, der Wirkungsgrad (die Transmission) ist jedoch deutlich erhöht.

Anspruch 1 macht diese Beziehung deutlich. Anspruch 2 ist am Aufbau orientiert, mit Kondensor-, Zwischen- und Feldlinsenteil.

Die Unteransprüche 3 bis 15 betreffen vorteilhafte Ausführungsformen.

Anspruch 3 quantifiziert den reduzierten Glasweg auf unter 30%, vorzugsweise unter 25%, des Objekt-Retikel-Abstands.

Die Ansprüche 7 und 8 betreffen dabei die Anpassung an die spezielle bevorzugte Umgebung mit REMA am Ausgang eines Glasstabs bzw. mit einem verkleinernden katadioptrischen Projektionsobjektiv.

Anspruch 15 beschreibt die Anpassung an die Pupillenfunktion eines Projektionsobjektivs mit sehr guter Telezentrie mit sehr geringen Abweichungen. Die geringen Abweichungen der Hauptstrahlen des Projektionsobjektivs von der Parallelität werden also vom REMA-Objektiv sehr gut getroffen.

Der unabhängige Anspruch 16 nimmt für eine gesamte Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage diese gute Anpassung des REMA-Objektivs mit den beschriebenen wenigen Elementen an das zugehörige Projektionsobjektiv auf. Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt den Linsenschnitt eines REMA-Objektivs mit drei Asphären;

Fig. 2 zeigt ein Mikrolithographie-Projektionsbelichtungssystem schematisch;

Fig. 3 zeigt eine vorgegebene Pupillenfunktion;

Fig. 4 zeigt im Beispiel realisierte Abweichungen der Pupillenfunktion zu Fig. 3; und

Fig. 5 zeigt den Linsenschnitt eines anderen Ausführungsbeispiels mit vier Asphären.

Das Ausführungsbeispiel eines REMA-Objektivs mit dem Linsenschnitt der Fig. 1 hat die Daten der Tabelle 1. Es besteht aus einem Kondensorteil 100, ausgebildet als Teilobjektiv, vor der Aperturblende 8, einem Zwischenteil 200 und einem Feldlinsenteil 300. In jedem dieser Teile ist eine Asphäre 7, 11, 17 vorgesehen. Das REMA-Objektiv hat also nur sieben Linsen. Die planen Flächen 9 und 14 haben nur Platzhalterfunktion. Im Bereich von 14 kann ein Umlenkspiegel (240 in Fig. 2) angeordnet werden.

Die Beschreibung der asphärischen Flächen erfolgt nach der Formel:  $p(h) = (h^2/R + \sqrt{R^2 - (1+k)h^2}) + c_1 h^4 + \dots + c_n h^{2n+2}$ .

Dabei ist p die Pfeilhöhe, h der Abstand zur optischen Achse, R der Scheitelradius, k die konische Konstante und  $c_1$  bis  $c_n$  sind die Asphärenkonstanten. Als asphärische Flächen werden dabei alle optischen Flächen mit einer rotations-

- Leerseite -

# DE 196 53 983 A 1

deren, speziell niedrigeren, Wellenlängen angepaßt werden kann, ist die Erfindung für diese Entwicklung zu niedrigeren Wellenlängen besonders wertvoll.

Fig. 2 zeigt einen schematischen Überblick über den optischen Teil einer gesamten Projektionsbelichtungsanlage (Wafer-Stepper), in die das erfindungsgemäße REMA-Objektiv 123 integriert ist.

Ein KrF-Excimer-Laser 50 mit 248 nm Wellenlänge dient als Lichtquelle. Eine Einrichtung 60 dient zur Strahlformung und Kohärenzreduktion. Ein Zoom-Axicon-Objektiv 70 ermöglicht die bedarfsgerechte Einstellung verschiedener Beleuchtungsarten. Es ist, wie die gesamte Anordnung (außer den erfindungsgemäßen Merkmalen des REMA-Objektivs 123) beispielsweise aus der EP-A 0 687 956 oder aus DE-U 94 09 744 (beide von der Anmelderin) bekannt. Das Licht wird in den Glasstab 80 eingekoppelt, der zur Mischung und Homogenisierung dient.

Unmittelbar daran schließt das Retikel-Maskierungssystem 90 an, das in der Objektebene 1 des REMA-Objektivs 123 liegt. Dieses besteht aus der ersten Linsengruppe 100, der Pupillenebene (Blendenebene) 14, der zweiten Linsengruppe 200, dem Umlenkspiegel 240, der dritten Linsengruppe 300 und der Bildebene 33. Hier ist das Retikel 330 angeordnet, das von der Wechsel- und Justiereinheit 331 präzise positioniert wird. Es folgt das katadioptrische Projektionsobjektiv 400 nach WO 95/32446 mit der Pupillenebene 410. Die Eintrittspupille liegt im Ausführungsbeispiel der Tabellen 1 und 2 allerdings nahezu im Unendlichen vor dem Projektionsobjektiv. In der Bildebene ist der Wafer 500 angeordnet.

Fig. 5 zeigt den Linsenschnitt eines anderen Ausführungsbeispiels mit 4 Asphären 505, 509, 514, 520 und insgesamt 18 Grenzflächen von 8 Linsen und einer Planplatte 521, 522. Tabelle 2 gibt dazu die Abmessungen an. Die Flächen 511 und 516 haben nur Statthalterfunktion. Abbildungsmaßstab (4,730 : 1) und Bildfeld (Durchmesser 127 mm) unterscheiden sich hier nicht wesentlich vom Beispiel Fig. 1. Größer ist allerdings der Lichtleitwert mit 16,2 mm.

Auch hier ist schon die Linsenzahl und der Glasweg mit 22% des Objekt-Bild-Abstands gegenüber einem rein sphärischen Design drastisch reduziert. Wie der Vergleich mit Fig. 1 zeigt, birgt aber gerade der Kondensorteil 550 mit hier 4 Linsen, davon 2 Asphären 505, 509, noch Verbesserungsmöglichkeiten. Trotzdem ist die Verbesserung im Vergleich zum rein sphärischen REMA-Objektiv schon beträchtlich, bei mäßigem Einsatz von Asphären.

Tabelle 1

Maßstab: 4,444 : 1

Wellenlänge: 248,33 nm

	Radius	Dicke	Material
1		55,240	
2	-38,258	46,424	Quarz
3	-66,551	,633	
4	881,696	45,341	Quarz
5	-190,791	,924	
6	374,111	47,958	Quarz
7	-287,518	222,221	
8	Blende	17,900	
9	$\infty$	79,903	
10	164,908	52,350	Quarz
11	-1246,141	27,586	
12	280,226	19,580	Quarz
13	114,495	133,941	
14	$\infty$	365,253	
15	-216,480	12,551	Quarz
16	-113,446	1,399	
17	-329,056	10,797	Quarz
18	-552,687	60,000	
19	$\infty$	,000	

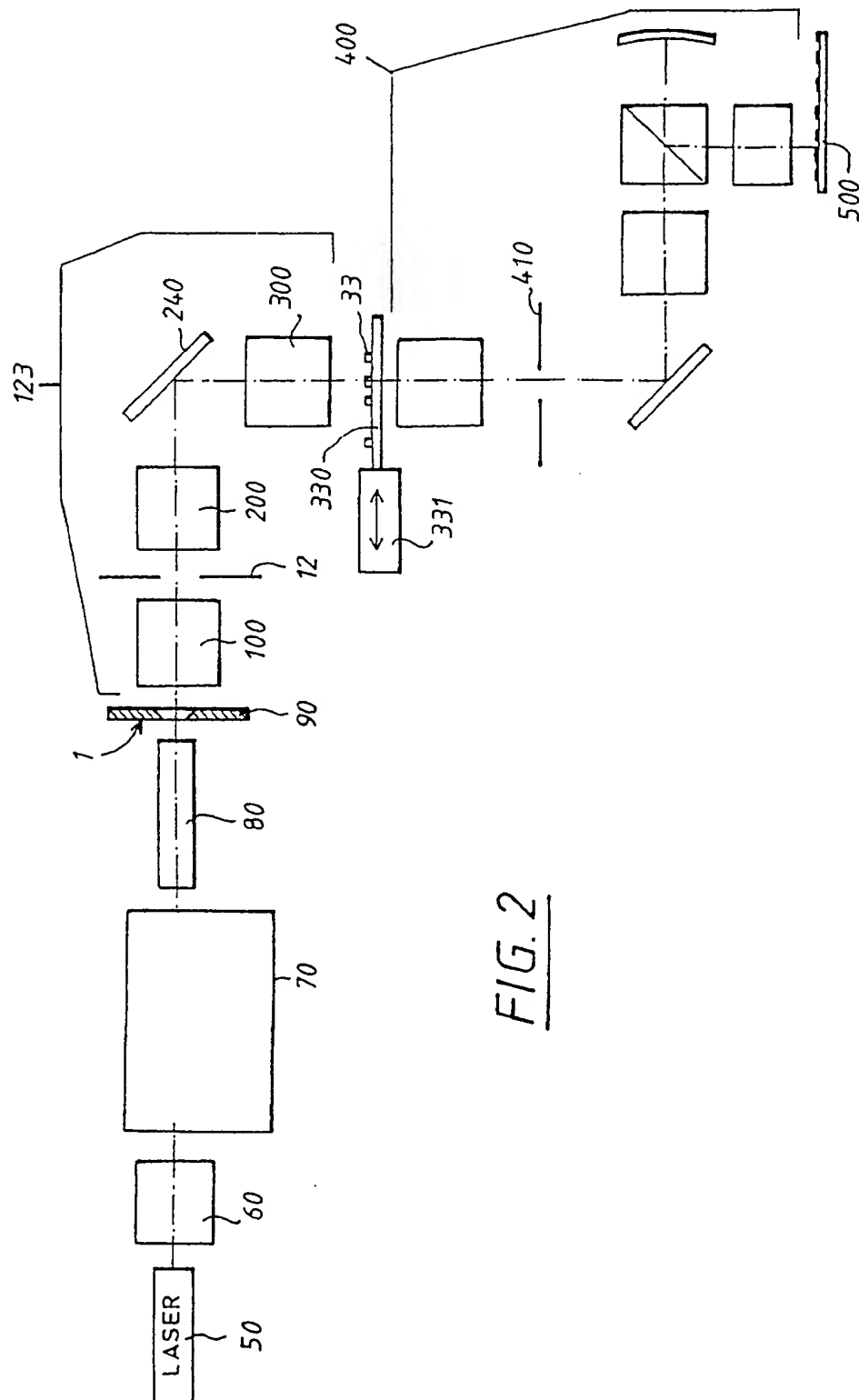


FIG. 2

# DE 196 53 983 A 1

dessen Helligkeitswerte 5% und 95% um weniger als 2%, vorzugsweise weniger als 0,5%, des Bildfelddurchmessers auseinanderliegen, **dadurch gekennzeichnet**, daß nicht mehr als 10 Linsen, dabei 1 bis 5, vorzugsweise 3 bis 4, asphärische Flächen (7, 11, 17), vorgesehen sind.

2. REMA-Objektiv, das eine in endlichem Abstand liegende Objektebene (1) auf eine Retikelebene (19) abbildet,
  - mit einem Kondensorteil (100), ausgebildet als vorderes Teilobjektiv, dessen Bildebene im Unendlichen liegt, dessen Blende in der Objektebene (1) des gesamten REMA-Objektivs liegt,
  - mit einem Zwischenteil (200) und
  - mit einem Feldlinsenteil (300),

dadurch gekennzeichnet, daß Kondensorteil (100), Zwischenteil (200) und Feldlinsenteil (300) je eine bis zwei asphärische Linsenflächen (7, 11, 17) enthalten, wobei insgesamt nicht mehr als fünf, vorzugsweise nicht mehr als vier, asphärische Flächen (7, 11, 17) vorhanden sind, und daß die Gesamtzahl der Linsen maximal 10 ist.

3. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Glasweg in den Linsen maximal 30%, vorzugsweise maximal 25%, des Abstandes von Objektebene (1) und Retikelebene (19) beträgt.

4. REMA-Objektiv nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine optische Fläche mit einem größten Betrag des Sinus des Auftreffwinkels gegen die Flächennormale eines Randstrahls in Luft (lsin (l<sub>rand</sub>)) größer als das 0,8-fache der objektseitigen numerischen Apertur (NAO) vorhanden ist.

5. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Teilobjektiv (100) enthält, welches eine hinsichtlich der Koma korrigierte Pupillenebene (14) erzeugt.

6. REMA-Objektiv nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Teilobjektiv (100) mindestens eine zur Objektebene (1) hin gekrümmte Hohlfläche (4) aufweist, an der das Öffnungsverhältnis von Krümmungsradius zu Linsendurchmesser kleiner als 0,65 ist.

7. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-6, gekennzeichnet durch die Verwendung in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, in der die Retikel-Maskierung (90) am Ausgang eines Glasstabs (80) angeordnet ist.

8. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-7, gekennzeichnet durch die Verwendung in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, in der das Projektionsobjektiv (400) ein verkleinerndes katadioptrisches Objektiv ist.

9. REMA-Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es aus einem Kondensorteil (100), ausgebildet als vorderes Teilobjektiv, dessen Bildebene im Unendlichen liegt, dessen Blende in der Objektebene (1) des gesamten REMA-Objektivs liegt, einem Zwischenteil (200) und einem Feldlinsenteil (300) aufgebaut ist.

10. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es drei- bis achtfache Vergrößerung aufweist.

11. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Bildfelddurchmesser größer als 80 mm aufweist.

12. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es eine bildseitige numerische Apertur von über 0,10 aufweist.

13. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Lichtleitwert größer als 10 mm hat.

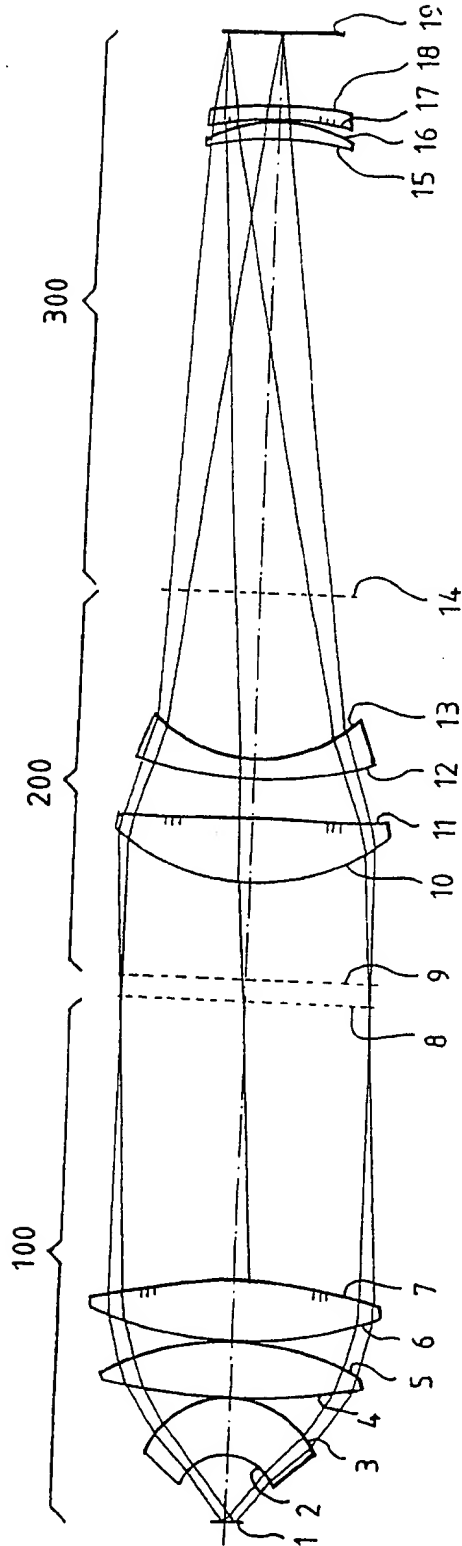
14. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung einer Hell-Dunkel-Kante von der Objektebene (1) auf die Retikelebene (19) einen Kantenverlauf ergibt, dessen Helligkeitswerte 5% und 95% um weniger als 2%, vorzugsweise weniger als 0,5%, des Bildfelddurchmessers auseinanderliegen.

15. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-14, dadurch gekennzeichnet, daß es eine vorgegebene Pupillenfunktion mit Werten des sin(i) im Bereich  $\pm 10$  mrad mit Abweichungen unter  $\pm 1$  mrad, insbesondere unter  $\pm 0,3$  mrad reproduziert.

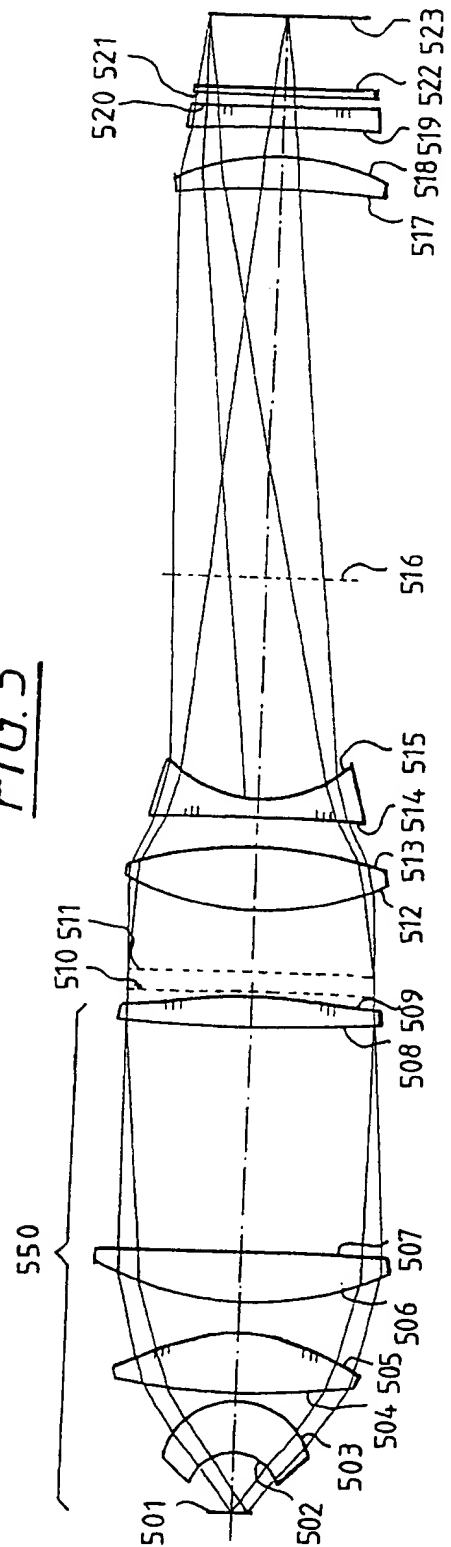
16. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung enthaltend ein vergrößern- des REMA-Objektiv (123) und mit einem verkleinerndem Projektionsobjektiv (400), wobei die Pupillenebene (12) des REMA-Objektivs (123) in die Pupillenebene (410) des Projektionsobjektivs (400) abgebildet wird und in jedem Punkt der Retikelebene (330) der ankommende Hauptstrahl des REMA-Objektivs (123) nur weniger als 3 mrad, vorzugsweise weniger als 0,3 mrad, vom Hauptstrahl des Projektionsobjektivs (400) abweicht, dadurch gekennzeichnet, daß das REMA-Objektiv (123) maximal 10 Linsen mit maximal 5, vorzugsweise maximal 4, asphärischen Flächen aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

**FIG. 1**



**FIG. 5**



Nummer:  
Int. Cl.<sup>6</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 196 53 983 A1  
G 02 B 13/24  
25. Juni 1998

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



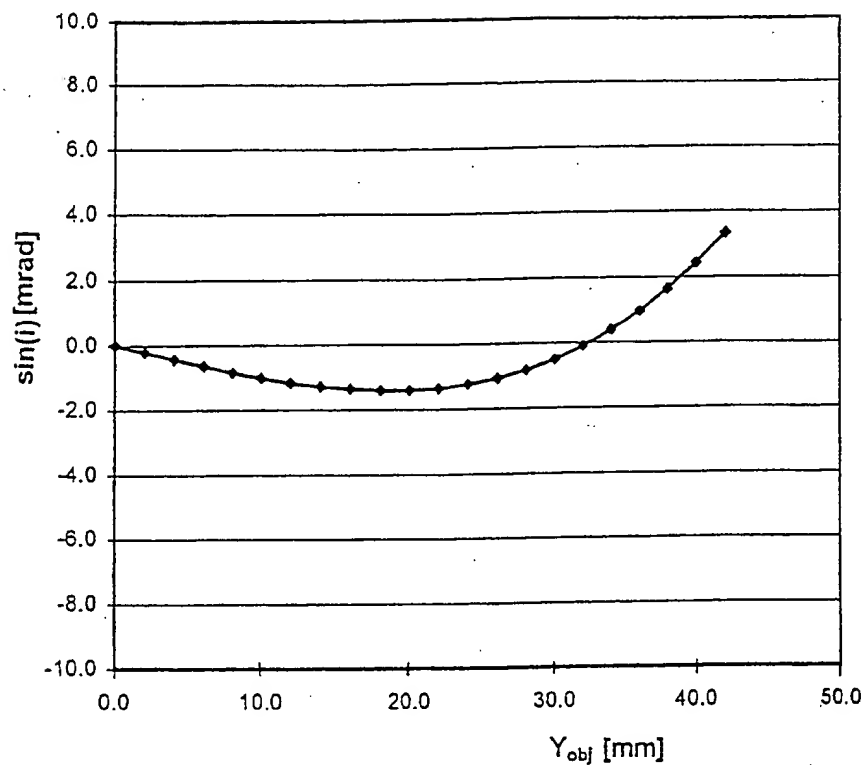


FIG. 3

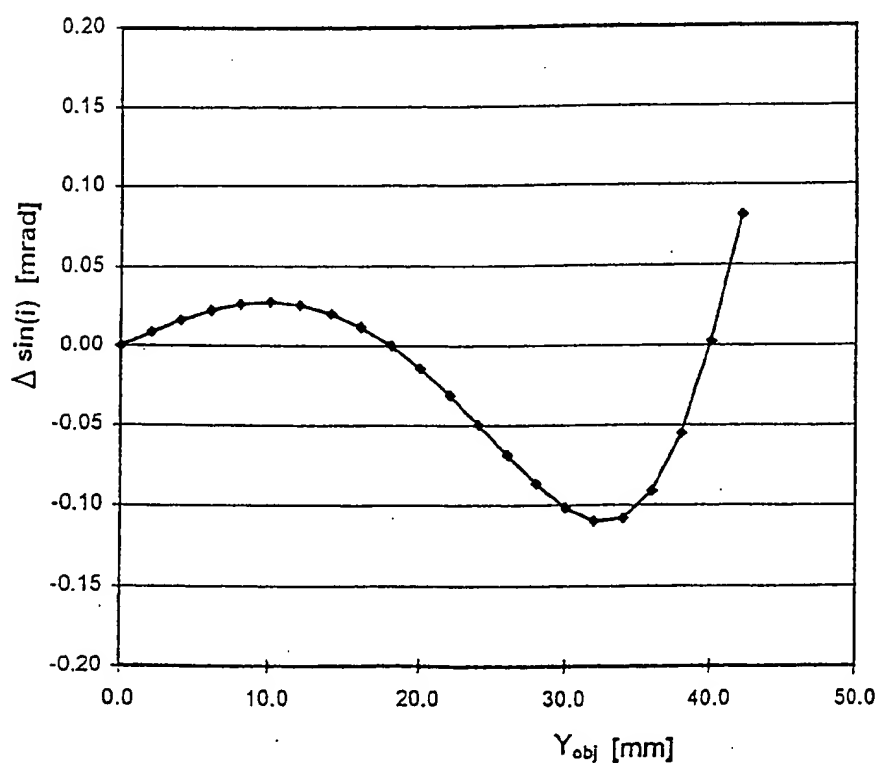


FIG. 4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**